

УДК 631.81:631.41:633.11

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОПРЕПАРАТОВ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ НА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

А.А. Алферов, к.с.-х.н., А.А. Завалин, ак. РАН, Л.С. Чернова, к.с.-х.н., ВНИИ агрохимии,
В.К. Чеботарь, к.б.н., ВНИИСХМ

Представлены результаты исследований по изучению влияния биопрепаратов эндофитных бактерий на урожайность зерна яровой пшеницы на разных фонах минерального питания. При инокуляции семян яровой пшеницы биопрепаратом эндофитных бактерий БП₂ на фоне без азота и при внесении N₄₅ независимо от погодных условий, урожай зерна увеличивался. Это связано, вероятно, с повышением обеспеченности азотом и стрессоустойчивости растений. Действие биопрепарата БП₁ варьировало по годам исследований и фонам минерального питания. Положительное влияние отмечено при внесении фосфорно-калийного удобрения, которое выразилось в росте урожайности зерна в среднем на 25%. Использование Экстрасола на безазотном фоне способствовало увеличению урожайности в среднем на 26%. Комплексное применение азотного удобрения в дозе 45 кг/га и биопрепаратов эндофитных бактерий позволило увеличить зерновую продуктивность яровой пшеницы в 1,6-2,1 раза. Определены параметры циклов азота в посевах яровой пшеницы при внесении азотного удобрения, меченого ¹⁵N и инокуляции биопрепаратами: минерализация, иммобилизация/реиммобилизация, нетто-минерализация в условиях дерново-подзолистей почвы. Показано что, применение биопрепаратов не повышает экологическую устойчивость агроэкосистемы.

Ключевые слова: биопрепараты эндофитных бактерий, азотное удобрение, урожайность зерна, яровая пшеница, потоки азота, устойчивость агроэкосистемы.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.13

Роль микроорганизмов в продуктивности агроэкосистемы велика. Участвуя в круговороте различных веществ, микроорганизмы не только обеспечивают устойчивое функционирование агроценоза, как одной из составных частей экосистемы, но и являются чувствительными индикаторами, отражающими изменение условий среды обитания. От характера воздействия на сукцессии почвенных микроорганизмов (водно-воздушным, тепловым, пищевым режимами и др.) зависят сложившаяся равновесная система, структура и функции микробоценоза, его биологическая активность [1]. Среди микроорганизмов, вступающих в ассоциации с растениями, выделяется группа эндофитных бактерий, которые колонизируют те же экологические ниши в растении, что и болезнетворные микроорганизмы, поэтому рассматриваются как перспективный агент биоконтроля фитопатогенов. Эндофиты были обнаружены внутри тканей важнейших сельскохозяйственных культур – пшеницы, риса, кукурузы, хлопчатника, картофеля, сахарного тростника [2-4]. Эндофитные бактерии могут обладать следующими позитивными функциями: переводить атмосферный азот в доступные для усвоения формы, тем самым улучшая азотное питание растения-хозяина; синтезировать фитогормоны, стимулирующие усиленный рост корневой системы растения и соответственно приводящие к улучшению минерального питания; усиливать резистентность растения к действию фитопатогенов [2, 5-7].

Вместе с тем, не решены вопросы взаимодействия удобрений и биопрепаратов на основе эндофитных микроорганизмов при формировании урожая сельскохозяйственных культур и установления количественных параметров использования азота при возделывании культурных растений. Это необходимо для предложе-

ния производству агроэкономически и экологически обоснованных параметров внесения удобрений.

Методика. Оценку эффективности применения аммиачной селитры и биопрепаратов проводили в микрополе-вом опыте в сосудах без дна на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве на ЦОС ВНИИ агрохимии в Московской области. Пахотный слой почвы (0-22 см) имел близкую к нейтральной реакцию среды (рН_{KCl} 6,3-6,4), содержание гумуса (по Тюрину) 2,1-2,4%, подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) выше среднего (соответственно, 164-178 и 170-190 мг/кг). В сосудах без дна площадью 0,04 м² выращивали по 30 растений яровой пшеницы сорта Злата. Предшественником её был картофель. Аммиачную селитру вносили весной при набивке сосудов в дозе 180 мг/сосуд, что соответствует 45 кг/га. В целях изучения баланса азота, его потребления растениями из минерального удобрения и почвы использовали стабильный изотоп азота ¹⁵N в виде соли ¹⁵NH₄¹⁵NO₃ с обогащением 54,04 ат. %. В качестве фона применяли Рсд и Кх в дозах, эквивалентных Р₃₀ и К₄₅ соответственно. Жидкие формы биопрепаратов Экстрасол (*Bacillus subtilis* Ч-13), БП₁ (*Bacillus megasterium* V₃) и БП₂ (*Bacillus subtilis* V₄) изготовлены во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии. Согласно рекомендации ВНИИСХМ, инокуляцию проводили в день посева из расчета 600 г препарата на 6 млн всхожих семян. Повторность в опыте четырехкратная. Варианты размещали методом рендомизированных повторений. Закладку микрополевого опыта, учет урожая, определение общего химического состава яровой пшеницы проводили по общепринятым стандартным методикам. Статистическую обработку результатов опыта осуществляли по программе STAT VNIIA.

Метеорологические условия различались по годам исследований. Чередование теплых и холодных перио-

дов, значительная разница между дневными и ночными температурами, а также преобладание атмосферных процессов антициклонического характера являлись отличительными чертами метеоусловий 2015 г. В целом температура периода вегетации оказалась выше климатической нормы на 3,0° С. Количество выпавших осадков за период вегетации было выше среднемноголетнего значения и составило 240% к норме. 2016 г. характеризовался повышенной температурой воздуха в течение всего периода вегетации и крайне неравномерным распределением атмосферных осадков с чередованием периодов засушливой погоды и выпадением ливневых осадков. Количество выпавших осадков за период вегетации было выше среднемноголетнего значения на 30%.

Результаты и их обсуждение. Исследования показали, что применение биопрепаратов эндофитных микроорганизмов на яровой пшенице увеличивает урожайность зерна на РК-фоне на 25-33%, на NPK-фоне – на 8-10%, но уступает действию азотного удобрения в дозе N₄₅ (табл. 1). Рост урожайности зерна от внесения аммиачной селитры доходил до 71%. Применение N₄₅ и биопрепаратов эндофитных бактерий повышало зерновую продуктивность яровой пшеницы в среднем в 1,7-1,9 раза и K_{хоз.} – на 17-20%. Перспективные препараты БП₁ и БП₂ в сравнении со стандартным (Экстрасолом) на NPK фоне достоверно эффективнее. На РК фоне только БП₁ достоверно эффективнее Экстрасола, что обусловлено способностью *Bacillus megasterium* к ассоциативной азотфиксации.

1. Эффективность применения биопрепаратов эндофитных бактерий на яровой пшенице (в среднем за 2 года)

Вариант опыта	Масса зерна, г/сосуд	K _{хоз.}	Прибавка зерна к контролю		Содержание N в зерне, %	Накоплено в зерне и соломе N, мг/сосуд	Азотный индекс
			г/сосуд	%			
1. P ₃₀ K ₄₅ – фон (Ф ₁)	15,0	0,35	-	-	1,75	373	0,70
2. Ф ₁ + Экстрасол	18,9	0,42	3,9	26	1,74	413	0,79
3. Ф ₁ + БП ₁	19,9	0,41	5,0	33	1,70	448	0,75
4. Ф ₁ + БП ₂	18,8	0,42	3,8	25	1,70	410	0,78
5. N ₄₅ P ₃₀ K ₄₅ (Ф ₂)	25,7	0,42	10,7	71	1,63	557	0,75
6. Ф ₂ + Экстрасол	25,2	0,43	10,2	68	1,70	534	0,80
7. Ф ₂ + БП ₁	27,8	0,42	12,8	85	1,65	596	0,77
8. Ф ₂ + БП ₂	28,3	0,44	13,3	89	1,73	620	0,79
P, %	3,21	2,68	3,21	3,2	2,25	2,99	
NCP ₀₅ :							
А-удобрение	0,5	0,02	0,5	3	0,04	22	
В-биопрепарат	0,7	0,02	0,7	5	0,07	15	
Част. различий	2,1	0,03	2,1	14	0,11	43	

Эффективность использования растениями азота оценивают по накоплению его в растениях, и прежде всего в зерне, что напрямую влияет на содержание в нем белка. Снижение концентрации в зерне азота от внесения N₄₅ обусловлено ростовым разбавлением. Вынос азота с урожаем зерна и массой соломы увеличился в 1,5 раза при внесении аммиачной селитры в дозе N₄₅ на фоне РК-удобрения. Инокуляция семян биопрепаратами способствовала росту накопления азота в 1,1-1,2 раза на фоне РК и в 1,1 раза на фоне NPK, но была меньше, чем при внесении N-удобрения. Совместное применение азотного удобрения и эндофитных биопрепаратов увеличивает вынос азота биомассой яровой пшеницы в 1,6-1,7 раза.

Улучшение азотного питания яровой пшеницы вследствие применения азотного удобрения, Экстрасола, биопрепаратов эндофитных микроорганизмов повышало значение азотного индекса с 0,70 до 0,75-0,80. Это свидетельствует о том, что накопленный в растениях азот в большей степени локализуется в зерне по сравнению с фоном РК-удобрений.

За счет инокуляции семян пшеницы биопрепаратом эндофитных бактерий БП₁ (*Bacillus megasterium*) увеличивается накопление азота и в биологический круговорот вовлекается 39-75 мг/сосуд атмосферного азота (7-17% от выноса урожая).

Химический состав зерна и соломы яровой пшеницы приведен в таблице 2.

2. Химический состав зерна и соломы яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант опыта	Содержание, %					
	зерно			солома		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. P ₃₀ K ₄₅ – фон (Ф ₁)	1,75	1,21	0,67	0,41	0,86	2,11
2. Ф ₁ + Экстрасол	1,74	1,25	0,67	0,33	0,85	2,14
3. Ф ₁ + БП ₁	1,70	1,18	0,63	0,40	0,84	2,02
4. Ф ₁ + БП ₂	1,70	1,19	0,66	0,35	0,81	2,12
5. N ₄₅ P ₃₀ K ₄₅ – Ф ₂	1,63	1,15	0,65	0,40	0,77	2,10
6. Ф ₂ + Экстрасол	1,70	1,16	0,72	0,32	0,80	2,11
7. Ф ₂ + БП ₁	1,65	1,21	0,66	0,36	0,81	2,15
8. Ф ₂ + БП ₂	1,73	1,23	0,69	0,37	0,83	2,15
P, %	2,25	2,42	5,35	6,13	2,41	3,91
NCP ₀₅	0,11	0,10	0,13	0,07	0,07	0,28

Оптимизация азотного питания растений и рациональное использование азота удобрений и природных ресурсов с контролем микробиологических процессов его превращения в почве являются одной из наиболее важных задач агрохимии в теоретическом и практическом аспектах [8]. Изучение баланса азота удобрений в почве, структуры потребления соединений азота растениями из различных источников позволяет установить закономерности трансформации азота удобрений в системе удобрение – почва – растение и оценить применяемый агротехнический прием (внесение удобрений, применение биопрепаратов). Изучение потоков азота (минерализация, нетто-минерализация и реиммобилизация) дает возможность оценить антропогенное воздействие на агроэкосистему и ее устойчивость [9].

Оценка влияния биопрепаратов эндофитных микроорганизмов на баланс и потоки азота при выращивании яровой пшеницы на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве показала, что инокуляция ими семян повышает коэффициент использования азота минеральных удобрений на 8-12% (табл. 3). Это обусловлено особенностями штаммов бактерий, входящих в биопрепараты. *Bacillus megasterium* V₃ входит в состав биопрепарата БП₁, создавая с растением растительно-микробную систему путем колонизации эндофитными бактериями корневой системы и внутренних тканей (эндосферы) растения, обладает высокой ростостимулирующей активностью, особенно корневой системы яровой пшеницы. *Bacillus subtilis* V₄, входящий в состав БП₂, характеризуется способностью к интенсивной колонизации культурных растений и продуцирует вторичные бактериальные метаболиты, проявляет бактерицидную активность по отношению к фитопатогенам родов *Pseudomonas syringae* и *Erwinia*, а также фунгицидную активность по отношению к роду *Fusarium* [5]. Это способствует лучшему развитию корневой системы

растений пшеницы и увеличению потребления азота как из удобрения, так и из почвы.

3. Баланс и потоки азота ^{15}N -удобрений, почвы, показатели интегральной оценки функционирования системы почва-растение в посевах яровой пшеницы при инокуляции биопрепаратами эндофитных бактерий (в среднем за 2 года)

Показатель	$\Phi + \text{N}_{45}$	$\Phi + \text{N}_{45} + \text{Экстрасол}$	$\Phi + \text{N}_{45} + \text{БП}_1$	$\Phi + \text{N}_{45} + \text{БП}_2$
Использовано растениями N_{45} , % от внесенного	45,7	54,3	53,2	57,4
Закреплено в 20 см слое почвы, % от N_{45}	25,2	24,9	25,4	25,1
Потери в 20 см слое почвы, % от N_{45}	29,1	20,8	21,4	17,5
Минерализованный азот (М), г/м ²	27,0	21,2	24,6	23,4
Нетто-минерализованный азот (Н – М), г/м ²	20,5	16,2	18,6	17,8
Реиммобилизованный азот (РИ), г/м ²	6,5	5,0	6,0	5,6
РИ : М, %	24	24	24	24
Н – М : РИ	3,1	3,2	3,1	3,1

Примечание. N_{45} – азот аммиачной селитры.

Изучение статей баланса азота в системе удобрение-почва-растение при инокуляции семян пшеницы биопрепаратами БП_1 и БП_2 показывает, что они снижают потери азота удобрений на 7,5-11,6% за счет лучшего его использования. Растения яровой пшеницы использовали около 46% азота аммиачной селитры. При совместном применении азотного удобрения и биопрепаратов эндофитных бактерий увеличивается использование N из аммиачной селитры до 53-57%. Применение Экстрасола, БП_1 и БП_2 не оказывает существенного влияния на иммобилизацию азота аммиачной селитры. Более весомую роль в процессах иммобилизации азота удобрений играют гетеротрофные микроорганизмы, к которым вышеуказанные штаммы не относятся [8,10].

Интенсивность трансформации азота в почве оценивали по величине минерализованного за вегетацию азота (М), формирующего потоки нетто-минерализованного и реиммобилизованного азота. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве показатель М при внесении N_{45} был выше, чем при совместном применении азотного удобрения и биопрепаратов. Несколько более высокие показатели М в варианте $\Phi + \text{N}_{45}$, связаны, по-видимому, с тем, что доля почвенного азота в общем выносе больше при внесении только азотного удобрения по сравнению с совместным его применением с биопрепаратами (86 и 82-83% соответственно). Во всех вариантах большую долю минерализованного азота составлял нетто-минерализованный азот (Н – М) – 75-77%. Абсолютные величины Н – М при применении N_{45} и биопрепаратов меньше, чем при внесении только азотного удобрения. Это обусловлено более низкими потерями азота удобрений и лучшим использованием его из аммиачной селитры при инокуляции семян биопрепаратами.

Анализ состояния агроэкосистемы под яровой пшеницей при применении азотного удобрения показал, что она функционирует в режиме резистентности (уровень воздействия – предельно допустимый). Инокуляция семян биопрепаратами эндофитных бактерий не повышает устойчивость агроэкосистемы, что обусловлено отсутствием роста иммобилизации азота удобрений (показатель РИ : М во всех вариантах находился на уровне 24%).

Выводы. На дерново-подзолистых почвах со средним содержанием гумуса ведущая роль в повышении урожайности зерна яровой пшеницы принадлежит минеральным удобрениям. Прибавка от применения N_{45} составляет в среднем 71%, от биопрепаратов на основе эндофитных микроорганизмов – 25-33%. Комплексное использование азотного удобрения в N_{45} и биопрепаратов эндофитных бактерий позволяет увеличить зерновую продуктивность яровой пшеницы в среднем в 1,7-1,9 раза, а также повышает вынос азота урожаем в 1,6-1,7 раза и азотный индекс на 7,1-14,3%.

Количество использованного растениями азота (^{15}N) удобрений, установленное методом изотопной индикации, на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве для яровой пшеницы составляет 46%. Применение биопрепаратов эндофитных микроорганизмов увеличивает использование азота минерального удобрения на 8-12%. Абсолютные размеры иммобилизации в структуре баланса меченого азота минерального удобрения достигали 25%. Инокуляция биопрепаратами эндофитных бактерий не влияет на иммобилизацию азота минерального удобрения.

Системный анализ трансформации почвенного азота выявил, что режим функционирования агроэкосистемы при применении минеральных удобрений и биопрепаратов зависит от сбалансированности потоков нетто-минерализованного и (ре)иммобилизованного азота. Использование интегральной оценки показало, что на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве агроэкосистема функционировала в режиме резистентности при применении только азотного удобрения. Существенных различий по показателю функционирования агроэкосистем между вариантами с инокуляцией яровой пшеницы Экстрасолом, БП_1 и БП_2 и без них не установлено.

Литература

1. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 28-32.
2. Щербаков А.В., Заплаткин А.Н., Чеботарь В.К. Эндофитные бактерии, населяющие семена пшеницы, перспективные продуценты микробных препаратов для сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 7. – С. 35-38.
3. Чеботарь В.К., Мальфанова Н.В., Щербаков А.В., Ахтемова Г.А., Борисов А.Ю., Лютенберг Б., Тихонович И.А. Эндофитные бактерии в микробных препаратах, улучшающих развитие растений (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. – 2015. – Т. 51. – № 3. – С. 283-289.
4. Ryan R.P., Germaine K., Franks A., Ryan D.J., Dowling D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications // FEMS Microbiol. Lett. – 2008. – V. 278. – P. 1-9.
5. Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Масленникова С.Н., Заплаткин А.Н., Канарский А.В., Завалин А.А. Эндофитные бактерии древесных растений как основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 4. – С. 40-44.
6. Triplett E. Diazotrophic endophytes: prospects for nitrogen fixation in monocots // Plant and Soil. – 1996. – V. 186. – P. 29-38.
7. Ruby E. J., Raghunath T.M. A Review: Bacterial endophytes and their bioprospecting // Journal of Pharmacy Research. – 2011. – V. 4. – № 3. – P. 795-799.
8. Завалин А.А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. – М.: ВНИИА, 2016. – 591 с.
9. Помазкина Л.В. Новый интегральный подход к оценке режимов функционирования агроэкосистем и экологическому нормированию антропогенной нагрузки, включая техногенное загрязнение почв // Успехи современной биологии. – 2004. – Т. 124. – № 1. – С. 66-76.
10. Accoe F., Boeckx P., Busschaert J., Hofman G., Van Cleemput O. Gross N transformation rates and net N mineralisation rates related to the C and N contents of soil organic matter fractions in grassland soils of different age // Soil Biology and Biochemistry. – 2004. – V. 36. – № 12. – P. 2075-2087.

A.A. Alferov¹, A.A. Zavalin¹, L.S. Chernova¹, V.K. Chebotar²

¹ Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127550 Moscow, Russia.

² All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, Podbelskogo sh., 3, 196608 Saint Petersburg, Russia.

The results of studies about the effect of biological preparations of endophytic bacteria on the spring wheat grain productivity with different backgrounds of mineral nutrition are presented. With the inoculation of spring wheat seeds with the endophytic bacteria BP₂ biopreparation on a background without nitrogen and the introduction of N45 irrespective of the weather conditions, the grain yield increased, which is probably due to an increase in the availability of nitrogen and plants resistance to the stressing environment. The biopreparation BP₁ effect varies from year to years of the research and the mineral nutrition backgrounds. A positive effect was noted on the phosphate-potassium fertilizers application, which was expressed in the grain yield increase in the on average by 25%. The Extrasol using only on a nitrogen-free background was contributed to an increase in yield on average by 26%. Combined application of the nitrogen fertilizer in a dose of 45 kg/ha and endophytic bacteria biological products allows to increase the spring wheat grain productivity by 1.6-2.1 times. The parameters of nitrogen cycles in spring wheat crops were determined: mineralization, immobilization/reimmobilization, netto mineralization in the conditions of sod-podzolic soil under applying nitrogen fertilizer labeled with ¹⁵N and inoculation with biopreparations. It is shown that the use of biological products does not increase the environmental sustainability of the agroecosystem.

Keywords: endophytic bacteria biopreparations, nitrogen fertilizer, grain yield, spring wheat, nitrogen fluxes, agroecosystem stability.

УДК 631.95:628.381.1

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД И ДЕЙСТВИЕ ТОРФОГУМИНОВОГО УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ И МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ

**В.А. Касатиков, д.с.-х.н., Н.П. Шабардина, ВНИИОУ,
В.А. Раскатов, к.б.н., РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
kasv47@yandex.ru, raskatovv@list.ru**

Представлены результаты, полученные в мелкоделяночном и микрополевом опытах, по изучению последствий осадка городских сточных вод и торфогуминового удобрения на урожайность и макроэлементный состав яровой тритикале.

Ключевые слова: осадок сточных вод, известкование, торфогуминовое удобрение, урожайность, яровая тритикале.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.14

Осадки сточных вод (ОСВ) и бытовые органические отходы – один из основных отходов производственной деятельности человека. Ежегодная масса производимых ОСВ при влажности 75% составляет 12,8 млн т. Утилизация осадков сточных вод является решаемой проблемой. Использование осадка городских сточных вод на удобрение в исходном состоянии или в составе компоста – один из приемов его утилизации [1-3].

Существует ряд других направлений использования осадков сточных вод, в том числе для производства органических удобрений на их основе, способствующих решению вышеуказанной экологической проблемы.

ОСВ и удобрения на их основе, благодаря высокому содержанию органического вещества улучшают плодородие почвы и его агрофизические свойства и повышают урожай сельскохозяйственных культур. Внесение ОСВ и компостов на их основе в почву влияет на агрохимические свойства почв, увеличение запасов органического вещества, усиление нитрификации в пахотном слое, возрастание биологической активности почвы, увеличение количества целлюлозоразлагающих бактерий и уменьшение доли плесневых грибов. Особенно отчетливо почвоулучшающие свойства данных органических удобрений проявляются на песчаных, супесчаных и малоплодородных деградированных почвах [2-4].

Цель наших исследований – изучить последствие осадка городских сточных вод, влияние известкования и торфогуминового удобрения на урожайность и макроэлементный состав яровой тритикале.

Методика. Исследования проводили в мелкоделяночном и микрополевом опытах, заложенных на опытном поле ВНИИОУ в звене севооборота озимая рожь – яровая тритикале. Почва участков дерново-подзолистая супесчаная, развитая на флювиогляционной супеси, подстилаемой моренным суглинком. Площадь делянки мелкоделяночного опыта 3 м², повторность 6-кратная. Микрополевым опыт заложен в 3-кратной повторности в сосудах без дна (d = 20 см), вкопанных на делянках мелкоделяночного опыта с длительным применением различных доз осадка городских сточных вод (360-1440 т/га в сумме за годы исследований) в сочетании с различными уровнями известкования (3-6 т/га). Торфогуминовое удобрение (ТГУ) получено методом щелочной обработки 0,1 н. КОН диспергированного торфа. Далее рН среды доводили до нейтральной реакции добавлением 1 н. H₂SO₄. Агроэкологическая характеристика ТГУ: влажность – 78,9 %, N_{общ.} – 1,54 %, P₂O₅ – 0,37, K₂O – 2,91 % (на сухое вещество), C_{общ.} – 33,8 %.

Дозы торфогуминового удобрения рассчитывали по содержанию общего углерода в вытяжке и вносили в жидком виде из расчета 3 и 6 г/м² органического угле-